

## БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ТА ВИРОБИ

УДК 693.547.32

**ОГЛЯД СПОСОБІВ ЗИМОВОГО БЕТОНУВАННЯ ТА ВИТРИМУВАННЯ БЕТОННОЇ СУМІШІ В УМОВАХ СЕРЕДНІХ ВІД'ЄМНИХ ТЕМПЕРАТУР**

І. Н. Дудар, А. О. Коваленко

**ОБЗОР СПОСОБОВ ЗИМНЕГО БЕТОНИРОВАНИЯ И ВЫДЕРЖИВАНИЕ БЕТОННОЙ СМЕСИ В УСЛОВИЯХ СРЕДНИХ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ**

И. Н. Дударь, А. А. Коваленко

**REVIEW METHODS AND WINTER CONCRETING HOLD CONCRETE MIX MEDIUM UNDER NEGATIVE TEMPERATURE**

I. Dudar, A. Kovalenko

*Проведено аналіз способів зимового бетонування, описано їхні області застосування, вказані недоліки та переваги кожного із способів. Дано оцінку ефективності застосування способів зимового бетонування та витримування бетонної суміші в умовах середніх від'ємних температур навколишнього середовища. Наведена класифікація способів розігріву бетонної суміші для будівельного майданчика і заводських умов за видом теплоносія, моментом розігріву в стадійних процесах, характером виконання розігріву, способом передачі тепла, та за мірою організаційної складності.*

**Ключові слова:** зимове бетонування, витримування суміші, розігрів бетонної суміші, критична міцність бетону, метод термосу, протиморозні хімічні добавки, ізотермічне витримування.

*Проведен анализ способов зимнего бетонирования, описаны их области применения, недостатки и преимущества каждого из способов. Дана оценка эффективности применения способов зимнего бетонирования и выдерживания бетонной смеси в условиях средних отрицательных температур окружающей среды. Приведена классификация способов разогрева бетонной смеси для строительной площадки и заводских условий по виду теплоносителя, по моменту разогрева в стадийных процессах, характеру разогрева, способу передачи тепла, и по мере организационной сложности.*

**Ключевые слова:** зимнее бетонирование, выдерживания смеси, разогрев бетонной смеси, критическая прочность бетона, метод термоса, противоморозные химические добавки, изотермическое выдерживание.

*Analysis of winter concreting methods, described their scope, deficiencies and advantages of each way. Gave the estimate of efficiency of application methods of winter concreting and withstand the concrete mix under conditions of average negative ambient temperatures. The classification methods of warming up the concrete mix to the construction site and factory conditions by type of coolant warm-up point in phasic processes, the nature of performance heating, heat transfer method and by measure of organizational complexity.*

**Keywords:** winter concreting, holding the mixture, heating the concrete mix, concrete strength critical method thermos protymorozni chemical additives isothermal holding.

При зведенні монолітних конструкцій в холодну пору року головною задачею є досягнення бетоном критичної міцності до моменту заморожування. Бетонування виконують при різних значеннях параметрів, що характеризують умови виконання робіт: тривалість транспортування бетонної суміші, масивність конструкцій або модуль поверхні  $M_n$ , коефіцієнт теплопередачі опалубки і утеплення неопалублених поверхонь бетону  $K$ , температура навколишнього середовища і т. д.

При складних умовах виконання робіт не всі способи зимового бетонування забезпечують

задану міцність бетону, наприклад метод «термосу» при зведенні тонкостінних конструкцій в сильні морози. З іншої сторони, при найменш жорстких погодних умовах деякі способи не допускається застосовувати через те, що вони забезпечують міцність бетону значно більшу заданої. Отримання завищеної міцності бетону пов'язано зі значними перевитратами енергоресурсів, підвищення працевитрат і вартості робіт, що спостерігається, наприклад, при наскрізному електропрогріванні достатньо масивних конструкцій в добре утепленій опалубці взимку. Таким чином, для кожного значення заданої відносної міцності існує своя область застосування конкретного способу зимового бетонування.

Протиморозні хімічні добавки в бетон є практично обов'язковими в зимовий період. Наприклад, відомий нітрит натрію (НН), нітрит-нітрат-хлорид кальцію (ННХК), форміат натрію, модифікації кріопласту та інші. Знижуючи температуру замерзання рідкої фази бетону ці добавки не призупиняють процес тверднення, але мало впливають на швидкість росту міцності бетону. Наприклад, 10%-ва добавка ННХК (0,5% від маси цементу) дозволяє бетону марки 200 у віці 28 діб при температурі повітря -15 °С отримати міцність 25 – 50% без нагрівання. Без добавки бетон в цих умовах тверднути не буде. Тому, протиморозні добавки не тільки зберігають рідку фазу, підвищують морозостійкість, але й забезпечують гідратацію цементу і тверднення бетону [1].

Способи розігріву бетонної суміші для будівельного майданчика і заводських умов можна класифікувати за видом теплоносія, за моментом розігріву в стадійних процесах, за характером виконання розігріву, за способом передачі тепла, за мірою організаційної складності. Вибір методу зимового бетонування залежить від економічної ефективності, умов бетонування, наявності дешевих джерел тепла, виду конструкції і особливостей бетонів, що використовуються.

За видом теплоносія розігрів бетонної суміші виконують парою, теплом від згоряння газу, високотемпературними теплоносіями. Парою розігрівають бетонну суміш в заводських умовах в бетонозмішувачах. Широкому практичному застосуванню попередньо розігрітих бетонних сумішей сприяв метод електророзігріву, що ґрунтується на ефекті електропровідності бетонної суміші. При включенні бетонної суміші в електричне коло в розчині відбувається виділення тепла. В процесі електророзігріву і після відключення електроенергії тепло перерозподіляється по всьому об'єму бетонної суміші і таким чином досягається деяка середня температура. Дане перерозподілення призводить до зниження середньої температури наприкінці розігріву. Чим більша крупність заповнювача і його об'ємна концентрація в бетонній суміші, тим більша величина зменшення кінцевої середньої температури бетонної суміші при однаковому часі електророзігріву [3]. Розігрів за допомогою електроенергії запропоновано виконувати змінним струмом промислової частоти, змінним струмом підвищеної частоти, постійним струмом змінної полярності, індукційно-вихровими струмами. Змінним струмом промислової частоти бетонну суміш розігрівають безпосередньо при виготовленні в процесі її переміщення до місця укладання, в процесі формування і укладання, в формі або в опалубці. Постійним струмом змінної полярності бетонну суміш розігрівають в звичайному бункері. На корпус бункера і пластину-електрод подають знакозмінну напругу постійного струму з інтервалом 5...6 с. Суміш розігрівають до температури 70...90 °С протягом 15...25 хвилин.

Електропровідність бетонної суміші змінюється в широких межах в залежності від виду застосовуваних цементів, хімічних добавок та витрати води, що на практиці призводить до значного зниження швидкості розігріву, або до небажаного перевантаження електрообладнання. Також може виникати електричний опір на межі контакту електрода із бетонною сумішшю, внаслідок недостатньої чистоти електрода і екранування його поверхні повітряними бульбашками при температурі в контактній зоні 85 °С, що призводить до збільшення перепадів температур по об'єму суміші, які важко піддаються контролю та регулюванню [2].

Також складно визначити область застосування способів електротермообробки бетону в конструкціях: електропрогріву, обігріву в гріючій опалубці із застосуванням гнучких термоактивних покриттів, індукційного нагріву, інфрачервоного обігріву, обігріву із застосуванням гріючих проводів, обігріву із використанням арматури як нагрівачів. В цьому випадку конструкції з будь-якими значеннями  $M_n$  та  $K$  можна бетонувати при температурі наколишнього середовища до -40 °С, нижче цієї температури виконання бетонних робіт на відкритому повітрі не рекомендується з технологічних причин, а в деяких випадках забороняється через санітарно-гігієнічні причини [2].

Опалубка для бетонування монолітних конструкцій в зимових умовах повинна бути

багатоцільовою, тобто забезпечувати зведення не тільки конструкцій з різними геометричними розмірами, але й обумовити можливість витримування бетону при різних температурних режимах до моменту досягнення ним заданої міцності.

Температурні режими з невисоким підйомом температури бетону, приблизно до 40 °С, і подальшим повільним термосним охолодженням є найменш енергоємні (витрата електроенергії складає 25...30 кВт×год/м<sup>3</sup>). Однак тривалість тверднення бетону в конструкції з  $M_n = 12 \text{ м}^{-1}$  в опалубці до моменту досягнення ним 70 %  $R_{28}$  досягає 5 діб, а оборотність опалубки може виконуватися не менше, ніж через 6 діб. В більшості випадків на практиці зимового бетонування застосовують температурні режими, що займають проміжне положення між найбільш короткими і найменш енергоємними.

При виготовленні бетонних сумішей на заводах організовують підігрів складових і води. Сам процес приготування виконують в утепленому приміщенні, чим забезпечують вихід бетонної суміші заданої температури. Для підігріву піску і щебеню використовують спеціальні реєстри, через які пропускають розігріту до 90 °С воду або пару. Воду для бетонної суміші підігрівають до 40 – 80 °С в залежності від виду цементу за допомогою пари в водонагрівачах.

Транспортування бетонної суміші взимку виконують в утеплених бетоновозах, спеціальних контейнерах, автосамоскидах з підігрівом кузова вихлопними газами. Процес транспортування розігрітої бетонної суміші до місця бетонування супроводжується значними втратами тепла, підвищенням жорсткості суміші та зниженням її легкоукладності. Тому аби усунути ці недоліки більш вигідно розігрівати бетонну суміш безпосередньо на місці ведення робіт. Для цього застосовують метод електророзігріву за допомогою електродів, встановлених в бетонну суміш.

Для контактного електророзігріву застосовують різні гріючі опалубки, які поділяють на жорсткі (дерев'яні, металеві) і м'які (із брезентової тканини, азбестові, резинові, пластикові). Влаштовують термоактивні опалубки окремими щитами або укрупненими панелями. Для обігріву бетону парою навколо бетонованої конструкції створюють «парову сорочку», що забезпечує температуро-вологістні умови тверднення бетону. Температура розігріву 70...95 °С.

Бетони, що широко застосовуються на вітчизняних портландцементях за темпами тверднення і міцнісними показниками дуже вразливі при низьких від'ємних температурах. Тверднення бетону на сучасних портландцементях є процесом достатньо тривалим при низькій температурі ( $\leq 5$  °С) і особливо при від'ємній температурі повітря. Так, наприклад, тривалість тверднення бетону до заданої міцності при -3 °С більше, ніж в 10 разів перевищує цей показник при +20 °С [4].

Покращення якості залізобетонних виробів можна досягти шляхом застосування сумішей попередньо розігрітих до температури ізотермічного витримування.

В попередньо розігрітому бетоні повніше протікають фізико-хімічні реакції, підвищуючи міцність бетону та відсутні порушення структури в початковий період тверднення, які є неминучими при звичайних методах термообробки бетону. Покращується порова структура бетону: зменшується кількість пор, доступних для проникнення води.

Укладання попередньо розігрітої бетонної суміші на більш холодну поверхню раніше укладеного бетону не впливає на якість бетону із швом бетонування. Міцність зростання шарів бетону знижується в тих випадках, коли температура свіжої суміші була менша температури поверхні раніше укладеного бетону на 20 °С і більше, а також із збільшенням зрілості раніше укладеного бетону до моменту укладки свіжої бетонної суміші.

Недоліком способу попереднього розігріву є порівняно швидка втрата рухливості бетонної суміші. Через це необхідно при використанні методу попереднього розігріву бетонної суміші передбачати роботи із пароізоляції відкритих поверхонь в період розігріву, а також в процесі транспортування і витримування одразу після ущільнення.

Спосіб попереднього розігріву бетонної суміші був успішно застосований при бетонуванні спеціальних споруд. Попередньо електророзігріті суміші вкладали в контакт з гірською породою, що мала температуру мінус 25...15 °С. При укладанні бетонної суміші з оптимальною температурою 70 °С охолодження конструкції товщиною 50 см відбувалося зі швидкістю 1...1,7 °С/год. Міцність бетону із електророзігрітої бетонної суміші до моменту охолодження до 0 °С коливалась в межах від 30 до 67 % від  $R_{28}$ . Це забезпечило необхідну міцність бетону і створення хорошої структури до моменту його замерзання. Тому швидкість охолодження бетону

із попередньо розігрітих бетонних сумішей не повинна перевищувати 2 °С/год [5].

Аналізуючи детально механізм гідратації цементу можна більш точно визначити тривалість періоду активної теплової обробки. Підвищення температури цементного тіста ефективно прискорює гідратацію мінералів цементу в кінетичній зоні, а при збільшенні дифузійного опору гідратних шарів доступ води в незволоженому зону цементних зерен (агрегатів) стає ускладненим, швидкість гідратації знижується і відбувається зміна механізму гідратації на дифузійний. У зв'язку з цим подальша теплова дія стає малоефективною.

Методи приготування теплого бетону спрямовані на досягнення більш інтенсивного тверднення бетону в порівнянні з традиційним паропрогрівом. Час тверднення при використанні теплих бетонів в 2-3 рази менший, ніж при традиційних режимах пропарювання.

### Висновки

- способи розігріву бетонної суміші для будівельного майданчика і заводських умов можна класифікувати за видом теплоносія, за моментом розігріву в стадійних процесах, за характером виконання розігріву, за способом передачі тепла, за мірою організаційної складності;
- за видом теплоносія розігрів бетонної суміші виконують парою, теплом від згоряння газу, високотемпературними теплоносіями;
- для кожного значення заданої відносної міцності існує своя область застосування конкретного способу зимового бетонування;
- протиморозні добавки зберігають рідку фазу бетонної суміші, підвищують морозостійкість, забезпечують гідратацію цементу і тверднення бетону;
- опалубка для бетонування монолітних конструкцій в зимових умовах повинна бути багатоцільовою та забезпечувати зведення конструкцій з різними геометричними розмірами та при різних температурних режимах;
- методи приготування теплого бетону спрямовані на досягнення більш інтенсивного тверднення бетону в порівнянні з традиційним паропрогрівом. Час тверднення при використанні теплих бетонів в 2-3 рази менший, ніж при традиційних режимах пропарювання.

### Використана література

1. Второй международный симпозиум по зимнему бетонированию (РИЛЕМ). Генеральные доклады, дискуссии – М.: Стройиздат, 1978. – 87 с.
2. Арбенев А. С. Технология бетонирования с электроразогревом смеси / А. С. Арбенев – М.: Стройиздат, 1975. – 133 с.
3. Крылов Б. А. Форсированный электроразогрев бетона / Б. А. Крылов, А. И. Ли – М.: Стройиздат, 1975. – 45 с.
4. Трёмбицкий С. М. Энерго- и ресурсосбережение в заводской и строительной технологии изготовления железобетонных изделий и конструкций / С. М. Трёмбицкий – М.: ОАО «Издательство «СТРОЙИЗДАТ», 2004 – 211 с.
5. Арбенев А. С. Зимнее бетонирование с электроразогревом смеси / А. С. Арбенев – М.: Стройиздат, 1970. – 250 с.

**Дудар Ігор Никифорович** – д.т.н., професор, завідувач кафедри містобудування та архітектури Вінницького національного технічного університету.

**Коваленко Андрій Олександрович** – аспірант Вінницького національного технічного університету.

**Дударь Ігорь Никифорович** – д.т.н., професор, заведуючий кафедрою градостроительства и архитектуры Винницкого национального технического университета.

**Коваленко Андрей Александрович** – аспирант Винницкого национального технического университета.

**Dudar Igor** – Professor, Head of Department of Urban Development and Architecture Vinnytsia National Technical University.

**Andrey Kovalenko** – postgraduate student Vinnytsia National Technical University.